

Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 10

Шифр *2-009*

(заполняется секретарём)

Вариант 10-04

1. Мальчик бьет ногой по мячу, который лежал на горизонтальной поверхности земли на некотором расстоянии от вертикальной стены дома. Мяч полетел под углом $\alpha=60^\circ$ к горизонту и после упругого столкновения со стеной упал через время $t_0=2$ секунды после начала полета на то же место, где лежал вначале.

- 1) На каком расстоянии L от стены лежал мяч вначале?
- 2) Найти высоту H от поверхности земли до места удара мяча о стену.
Ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2 .

2. Шарик массой m_1 , скользящий по гладкой горизонтальной поверхности, сталкивается с шариком массой m_2 , который покоился на той же поверхности. После центрального упругого удара шарик массой m_1 начал двигаться в обратном направлении со скоростью в 2 раза меньшей начальной.

- 1) Найти отношение масс $\frac{m_2}{m_1}$.
- 2) Найти отношение скорости шарика массой m_2 к скорости шарика массой m_1 до столкновения.

после столкновения

3. Навстречу шарiku, скользящему по гладкой горизонтальной поверхности, движется по той же поверхности брусок. Шарик и брусок движутся вдоль одной прямой. Скорость шарика перпендикулярна грани бруска, о которую он ударяется. Масса бруска много больше массы шарика. После упругого удара шарик движется в обратном направлении со скоростью, которая в 4 раза больше его начальной скорости.

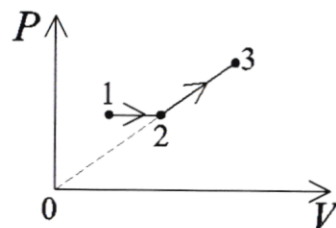
Найти отношение скоростей движения шарика и бруска до столкновения.

4. В двух теплоизолированных сосудах одинакового объема, соединенных короткой трубкой с закрытым краном, находятся $\nu_1=1/2$ моль одноатомного идеального газа при температуре $T_1=200 \text{ К}$ и $\nu_2=1/3$ моль другого одноатомного газа при температуре $T_2=300 \text{ К}$. Кран открывается, газы в сосудах смешиваются.

- 1) Найти температуру в сосудах после установления теплового равновесия.
- 2) Найти отношение конечного давления в смеси газов к начальному давлению в сосуде с температурой T_1 .

5. Объем идеального газа увеличивается в $n=2$ раза в изобарическом процессе, а затем еще раз увеличивается в $n=2$ раза в процессе прямо пропорциональной зависимости давления газа P от его объема V .

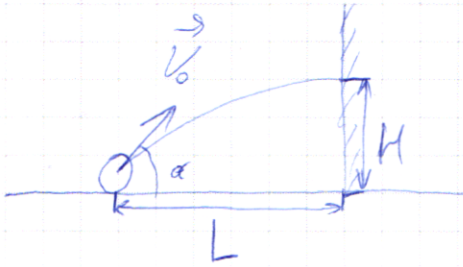
- 1) Во сколько раз увеличивается конечная температура газа по сравнению с начальной?
- 2) Найти отношение работы, которую совершает газ в изобарическом процессе, к работе, которую он совершает в процессе прямо пропорциональной зависимости давления газа P от его объема V .





ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1)



$$\alpha = 60^\circ \quad g = 10 \text{ м/с}^2$$

$$t_0 = 2 \text{ с}$$

1) L - ? (L - расстояние от мяча до стены)

2) H - ? (H - высота точки столкновения мяча со стеной от ~~пола~~ земли)

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$t_0 = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$$

$$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\sin 120^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\frac{2 v_0 \sin \alpha}{g} = 2$$

$$v_0 \sin \alpha = 10$$

$$v_0 \sin 60^\circ = 10$$

$$\frac{v_0 \sqrt{3}}{2} = 10$$

$$v_0 = \frac{20\sqrt{3}}{3}$$

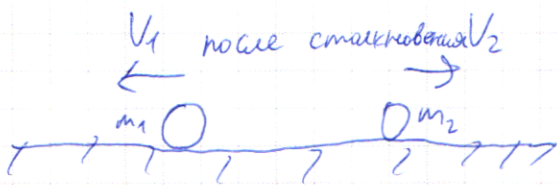
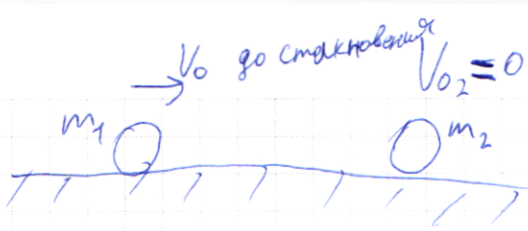
$$H = \left(\frac{20\sqrt{3}}{3}\right)^2 \cdot \frac{\sin^2 60^\circ}{2g} = \frac{400 \cdot 3}{9} \cdot \frac{3}{4 \cdot 2 \cdot 10} =$$

$$= \frac{10}{2} = 5 \text{ ответ (2) - } \underline{5}$$

$$L = \left(\frac{20\sqrt{3}}{3}\right)^2 \cdot \frac{\sin 120^\circ}{2g} = \frac{400 \cdot 3}{9} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2 \cdot 2 \cdot 10} =$$

$$= \frac{10\sqrt{3}}{3} \text{ ответ (1) - } \underline{\frac{10\sqrt{3}}{3}}$$

2)



m_1 - масса первого шара
 m_2 - масса второго шара
 изначально обозначим скорость шара $m_1 - v_0$

v_1 - скорость шара m_1 после столкновения

v_2 - скорость шара m_2 после столкновения

1) $\frac{m_2}{m_1} - ?$

2) $\frac{v_2}{v_0} - ?$

$$m_1 v_0 + m_2 v_{02} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 = \frac{m_1 v_0}{2} + m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 - \frac{m_1 v_0}{2} = m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 \left(1 - \frac{1}{2}\right) = m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 = 2 m_2 v_2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_0}{2 v_2}$$

$$\frac{m_1 v_0^2}{2} + \frac{m_2 v_{02}^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$\frac{m_1 v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_0^2}{8} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$m_1 v_0^2 = \frac{m_1 v_0^2}{4} + m_2 v_2^2$$

$$m_1 v_0^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right) = m_2 v_2^2$$

$$m_1 v_0^2 \cdot \frac{3}{4} = m_2 v_2^2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{3 v_0^2}{4 v_2^2}$$

$$\frac{v_0}{2 v_2} = \frac{3 v_0^2}{4 v_2^2}$$

$$\frac{3 v_0}{2 v_2} = 1$$

$$\frac{v_0}{v_2} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{v_2}{v_0} = \frac{3}{2} = 1,5 \quad \text{ответ(2) - } \underline{1,5}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_0}{2 v_2} = \frac{2}{2 \cdot 3} = \frac{1}{3}$$

ответ(1) - $\underline{\frac{1}{3}}$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

2-009

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 3
(Нумеровать только чистовики)

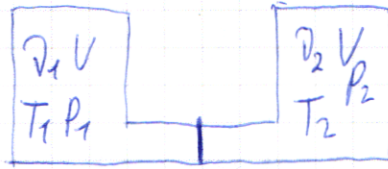
④ $V_1 = V_2 = V$

$\nu_1 = 0,5 \text{ моль}$

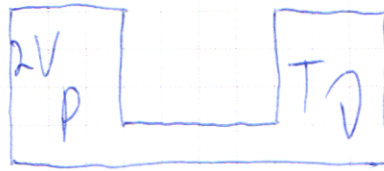
$T_1 = 200 \text{ К}$

$\nu_2 = \frac{1}{3} \text{ моль}$

$T_2 = 300 \text{ К}$



←



$2V, P, T, \nu$

P — конечное давление
 T — конечная температура
 ν — конечная (моль)
 U — внутренняя энергия
 R — универсальная газовая постоянная
 $U_{\text{полное}}$ — полная энергия системы

1) T — ?

2) $\frac{P}{P_1}$ — ?

$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$

$U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$

$U_{\text{полное}} = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T$

$\frac{3}{2} \nu_1 R T_1 + \frac{3}{2} \nu_2 R T_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R T$

$\frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) = \frac{3}{2} R (\nu_1 + \nu_2) T$

$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = (\nu_1 + \nu_2) T$

$T = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{0,5 \cdot 200 + \frac{1}{3} \cdot 300}{0,5 + \frac{1}{3}} = \frac{200}{\frac{5}{6}} = 240 \text{ К}$

ответ (1) — 240

$2PV = \nu RT$

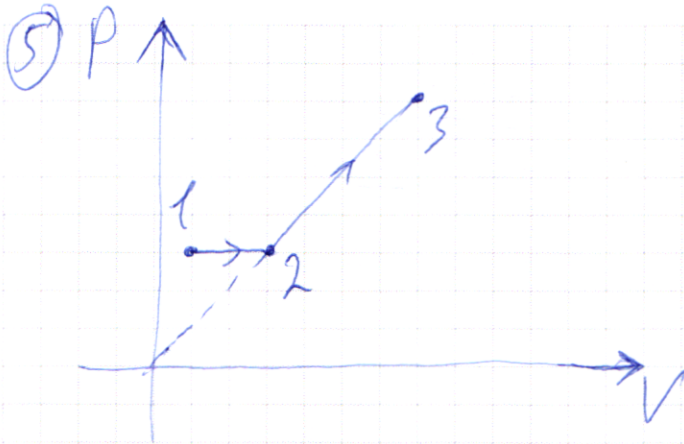
$\frac{2PV}{P_1 V} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) R T}{\nu_1 R T_1}$

$\frac{P}{P_1} = \frac{(\nu_1 + \nu_2) T}{2 \nu_1 T_1}$

~~$P_1 V = \nu_1 R T_1$~~

$\frac{P}{P_1} = \frac{\frac{5}{6} \cdot 240}{2 \cdot 0,5 \cdot 200} = \frac{20}{20} = 1$ ответ (2) — 1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$V_2 = 2V_1$$

$$V_3 = 2V_2$$

$$P_2 = 2P_1$$

1) $\frac{T_3}{T_1} = ?$

2) $\frac{A_{12}}{A_{23}} = ?$

~~Работа совершенная газом в процессе 1-2~~

(A_{12} - работа совершенная газом в процессе 1-2)

(A_{23} - работа газа в процессе 2-3)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} \rightarrow \frac{P_1 V_2}{T_2} \rightarrow \frac{P_2 V_3}{T_3}$$

~~Работа совершенная газом в процессе 1-2~~
~~Работа совершенная газом в процессе 2-3~~

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_1 \cdot 2V_1}{T_2} = \frac{2P_1 \cdot 4V_1}{T_3}$$

$$\frac{2P_1 V_1}{T_2} = \frac{4P_2 V_1}{T_2}$$

$$P_1 = 2P_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{2P_1 V_1}{T_2} = \frac{2P_1 V_1 \cdot 4}{T_3} = \frac{8P_1 V_1}{T_3}$$

$$A_{12} = P_1 (V_2 - V_1) = P_1 V_1 = 2P_2 V_1$$

$$A_{23} = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_3 - V_2) = \frac{3}{2} P_2 \cdot 2V_1 = 3P_2 V_1$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 2$$

$$\frac{T_3}{T_2} = 4$$

$$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{2P_2 V_1}{3P_2 V_1} = \frac{2}{3}$$

ответ(2) = $\frac{2}{3}$

$$T_2 = 2T_1$$

$$\frac{T_3}{2T_1} = 4$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 8$$

ответ(1) = 8

черновик

чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

5) продолжение

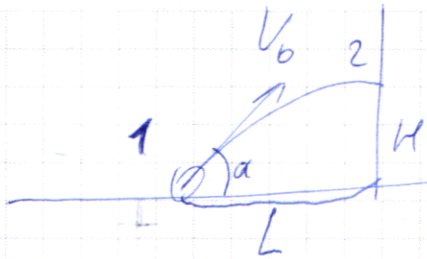
$$A_{12} = P_1(V_2 - V_1) = P_1 V_1$$

$$A_{23} = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_3 - V_2) = \frac{3}{2} P_1 \cdot 2 V_1 = 3 P_1 V_1$$

$$\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{P_1 V_1}{3 P_1 V_1} = \frac{1}{3} \quad \text{ответ (2)} - \frac{1}{3}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1



$\alpha = 60^\circ$
 $t_0 = 2 \text{ s}$

1) L - ?

2) H - ?

$$H = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$L = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$$

$$t = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g}$$

~~$E_{k1} = \frac{mV_0^2}{2}$~~
 ~~$E_{k2} = 0$~~
 ~~$E_{p2} = mgh$~~

$$H = \frac{200 \cdot \sin^2 60^\circ}{2 \cdot 10} = \frac{200 \cdot 3}{8} = 75$$

$$\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$$

$$\cos^2 60^\circ = \frac{1}{4}$$

$$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\sin^2 60^\circ = \frac{3}{4}$$

~~$\sin 2\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$~~

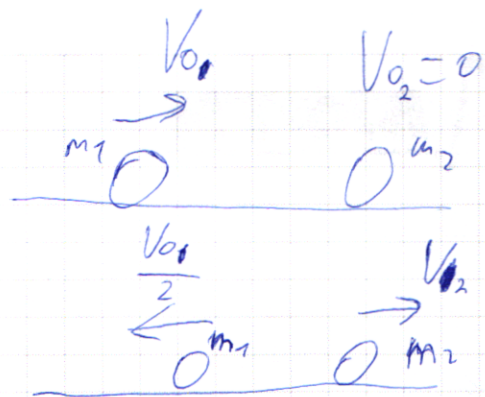
$$L = \frac{(20\sqrt{3})^2 \sin^2 60^\circ}{2g}$$

$$V_0 \sin \alpha = 10$$

$$V_0 \cos \alpha = 10$$

$$V_0 = \frac{20\sqrt{3}}{3}$$

2)



1) $\frac{m_2}{m_1} = ?$

2) $\frac{v_2}{v_0}$

$$m_1 v_0 + m_2 v_2 = \frac{m_1 v_0}{2} + m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 = \frac{m_1 v_0}{2} + m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 \left(1 - \frac{1}{2}\right) = m_2 v_2$$

$$m_1 v_0 = 2 m_2 v_2$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_0}{2 v_2}$$

$$\frac{v_0}{2 v_2} = \frac{3 v_0}{4 v_2^2}$$

$$\frac{m_1 v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_0^2}{4} + \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$m_1 v_0^2 = \frac{m_1 v_0^2}{4} + m_2 v_2^2$$

$$m_1 v_0^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right) = m_2 v_2^2$$

$$m_1 v_0^2 \cdot \frac{3}{4} = m_2 v_2^2 \quad \frac{m_2}{m_1} = \frac{3 v_0^2}{4 v_2^2}$$

$$\frac{v_2}{v_0} = \frac{3}{2} = \boxed{\frac{1.5}{1}}$$

$$\frac{v_0}{v_2} = \frac{2}{3}$$

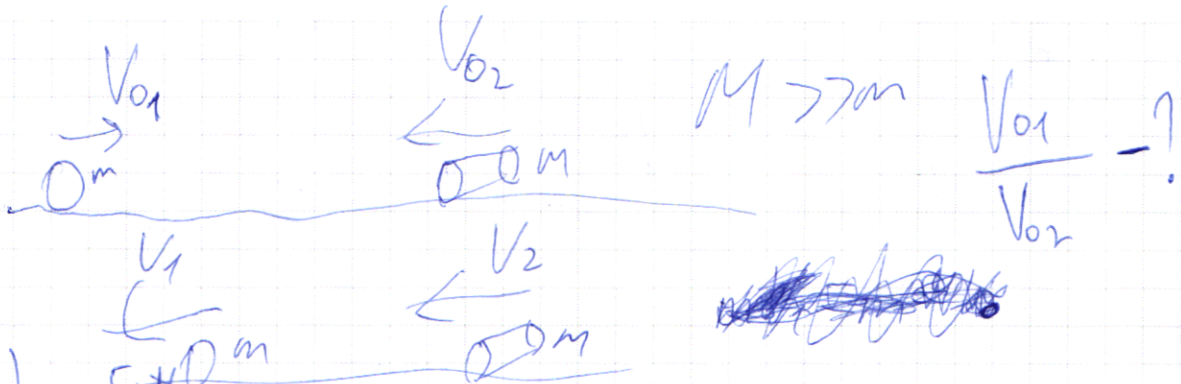
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_0}{2 v_2} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{v_0}{2 v_2} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \boxed{\frac{1}{3}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

33



$$M(V_{02} - V_2) = 5mV_1$$

$$M(V_{02} - V_2)(V_{02} + V_2) = 4V_1^2$$

$$M(V_{02}^2 - V_2^2) = 17mV_1^2$$

$$M(V_{02}^2 - V_2^2) = 17mV_1^2$$

$$M(V_{02} - V_2) = 5mV_1$$

$$M(V_{02}^2 - V_2^2) = 17mV_1^2$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_1 \cdot 2V_1}{T_2} = \frac{P_2 \cdot 4V_1}{T_2}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_1 \cdot 2V_1}{T_2} = \frac{P_2 \cdot 4V_1}{T_2}$$

$$P_1 = 2P_2$$

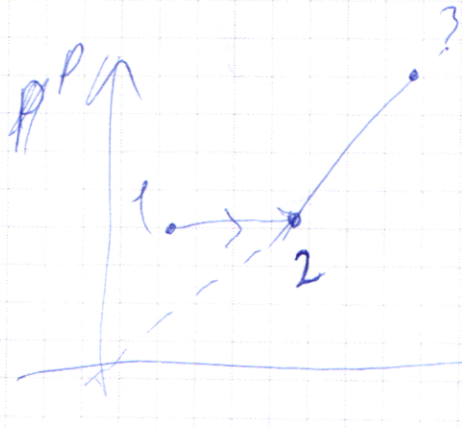
$$\frac{T_2}{T_1} = 2$$

$$T_2 = 2T_1$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 8$$

$$T_3 = 8T_1$$

5) $V_2 = 2V_1$
 $V_3 = 2V_2$



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_1 V_2}{T_2} = \frac{P_2 V_3}{T_2}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_1 \cdot 2V_1}{T_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 2$$

1) $\frac{T_3}{T_1} = ?$
 $A_1 = P_1(V_2 - V_1) = P_1 V_1$
 $A_2 = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_3 - V_1) = 1.5 P_1 \cdot 2V_1 = 3P_1 V_1$

2) $\frac{A_1}{A_2} = ?$

④ $V_1 = V_2 = V$

$\nu_1 = 0,5 \text{ mol}$

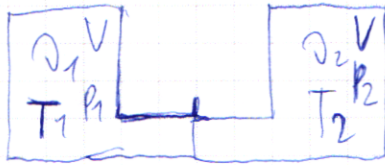
$T_1 = 200 \text{ K}$

$\nu_2 = \frac{1}{3} \text{ mol}$

$T_2 = 300 \text{ K}$

$$\frac{2pV = (\nu_1 + \nu_2)RT}{p_1V = \nu_1RT_1}$$

$$\frac{p}{p_1} = \frac{(\nu_1 + \nu_2)T}{2\nu_1T_1} = \frac{\frac{5}{3} \cdot 240}{2 \cdot 0,5 \cdot 200} = \frac{20}{20} = 1$$



$$\frac{p_1V}{T_1} + \frac{p_2V}{T_2} = \frac{p \cdot 2V}{\Theta}$$

1) Θ - ?

2) $\frac{p}{p_1}$ - ?

~~$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$~~

~~$\rho = \frac{m}{V} = \frac{N}{N_{Av}}$
 $n = \frac{N}{V}$~~

~~$R = 8,31$~~

~~$U_1 = \frac{3}{2} \nu_1 R T_1$~~

~~$\nu_1 = \frac{p_1V}{RT_1} = \frac{N_1}{N_{Av}}$
 $\nu_2 = \frac{p_2V}{RT_2} = \frac{N_2}{N_{Av}}$
 $pV = \frac{m}{M} RT$
 $pV = \nu RT$~~

~~$U_2 = \frac{3}{2} \nu_2 R T_2$~~

~~$p = \frac{1}{3} n_{\text{total}} V^2 = \frac{1}{3} \frac{N}{3} m v^2 = \frac{1}{3} \frac{m}{3} \dots$~~

~~$pV = \frac{m}{M} RT$~~

~~$pV = \nu RT$~~

~~$\frac{3}{2} \nu R (\Theta - T_1)$~~

$\nu_1 T_1 = 0,5 \cdot 200 = 100$

$\nu_2 T_2 = \frac{1}{3} \cdot 300 = 100$

$\Theta = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2} = \frac{200}{\frac{5}{3}} = 240$

$U_{\text{total}} = U_1 + U_2 = \frac{3}{2} (\nu_1 + \nu_2) R \Theta = \frac{3}{2} R (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)$